

# JP 2002-083996 A

(11)Publication number : 2002-083996 (51)Int.Cl. H01L 31/10  
(43)Date of publication of application : 22.03.2002  
(21)Application number : 2000-288256 (71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD  
(22)Date of filing : 22.09.2000 (72)Inventor : YAMADA MOTOKAZU

(30)Priority

Priority number : 2000187072 Priority date : 22.06.2000 Priority country : JP

(54) GALLIUM NITRIDE BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT RECEIVING ELEMENT AND  
LIGHT RECEIVING ARRAY USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a light receiving element which selectively has a high sensitivity in a specific wavelength range in a area ranging from ultraviolet to visible range.

SOLUTION: This element is provided with a double-hetero structure in which a light receiving layer made of i-type gallium nitride based compound semiconductor is formed between an n-type layer and a p-type layer which are respectively made of gallium nitride based compound semiconductor, and the light receiving layer is made of undoped  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) and the n-type layer is made of GaN.<BR><BR>

## Disclaimer

This is a machine translation performed by INPIT (<http://www.ipdl.inpit.go.jp>) and received and compiled with PatBot (<http://www.patbot.de>).

PatBot can't make any guarantees that this translation is received and displayed completely!

## Notices from INPIT

Copyright (C) JPO, INPIT

The JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] Between a n type layer and a p type layer which consist of a gallium nitride system compound semiconductor, respectively, An PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector, wherein it has terrorism structure to double provided with a euphotic zone which consists of an i type gallium nitride system compound semiconductor, said euphotic zone consists of undoped  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) and said n type layer consists of  $\text{GaN}(s)$ .

[Claim 2] The gallium nitride system compound semiconductor photo detector according to claim 1 which consists of the 2nd  $\text{GaN}$  layer by which a n type impurity formed between the 1st  $\text{GaN}$  layer with said undoped n type layer, and this 1st  $\text{GaN}$  layer and said euphotic zone was doped.

[Claim 3] Between a n type layer and a p type layer which consist of a gallium nitride system compound semiconductor, respectively, An PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector, wherein it has terrorism structure to double provided with a euphotic zone which consists of an i type gallium nitride system compound semiconductor, said euphotic zone consists of undoped  $\text{GaN}$  and said n type layer consists of  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ).

[Claim 4] Between a n type layer and a p type layer which consist of a gallium nitride system compound semiconductor, respectively, It has terrorism structure to double provided with a euphotic zone which consists of an i type gallium nitride system compound semiconductor, An PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector, wherein said euphotic zone consists of undoped  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) and said n type layer consists of  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ).

[Claim 5] A given [ one ] in either of Claims 1-4, wherein said p type layer has p type  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $0 \leq z < 1$ ) layer at least PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector.

[Claim 6] Said gallium nitride system compound semiconductor photo detector, An PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector of any one description in Claims 1-5 which have a non-absorption wavelength region where quantum efficiency is located in both sides of not less than 60% of absorption wavelength region, and this absorption wavelength region and by which said absorption wavelength region was set as not less than 20 nm.

[Claim 7] Said gallium nitride system compound semiconductor photo detector, It has a non-absorption wavelength region located in both sides of an absorption wavelength region and this absorption wavelength region, A given [ one ] in either of Claims 1-6 said absorption wavelength region has quantum efficiency of 100 times or more of said non-absorption wavelength region, and range of said whose absorption wavelength regions is not less than 20 nm PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector.

[Claim 8] An PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector of any one description in Claims 1-7 to which said absorption wavelength region is set in the wavelength range of 360 to 420 nm.

[Claim 9] A given in either of Claims 1-8, wherein thickness of said euphotic zone is 1500-Å or more and 10000 Å or less PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector.

[Claim 10] An PIN type gallium nitride system compound semiconductor light emitting device of any one description in Claims 1-9, wherein thickness of said n type layer is 1 micrometers or more and 10 micrometers or less.

[Claim 11] A euphotic array, wherein the multiple arrays of said Claim 1 thru/or the gallium nitride system compound semiconductor photo detector of any one description of Claim 10 are carried out on one substrate.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the photo detector especially using a gallium nitride system compound semiconductor ( $\text{In}_a\text{Al}_{1-a}\text{Ga}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ,  $0 \leq a \leq 1$ ,  $0 \leq b \leq 1$ ,  $a+b \leq 1$ ) about the semiconductor photo detector used for a photo-diode, a solar cell, etc.

[0002]

[Description of the Prior Art] As a photo detector using the semiconductor which detects light, the element etc. which used InGaP and InP are widely put in practical use by detection of infrared light. The photo detector which detects ultraviolet radiation cannot say it as a thing with the still desired characteristic, although the photo detector which used Si is put in practical use. The photo detector which detects ultraviolet radiation can consider the use to a flame sensor, a missile detector, an astronomic observation, etc. Although the photo detector using Si is put in practical use by both with the PN-junction type and the PIN junction type, Since it is necessary to form a euphotic zone by micron order and, and Si is a transited [ indirectly ] type semiconductor and terrorism structure is not made to double, light is absorbed and p layer and a n layer also have the problem that the quantity of the light which reaches a euphotic zone decreases. In order to use as a photo detector which detects only ultraviolet radiation (for example, 400 nm or less) in order for visible light (for example, not less than 400 nm) to also show the euphotic characteristic, it is necessary to pass a filter which visible light does not receive and, and since the band gap is small, the noise by heat also becomes a problem.

[0003] Since the gallium nitride system compound semiconductor which consists of  $\text{In}_a\text{Al}_{1-a}\text{Ga}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$  ( $0 \leq a \leq 1$ ,  $0 \leq b \leq 1$ ,  $a+b \leq 1$ ) is a material which has the wide range bandgap energy from 6.0 eV (AlN) to 1.95 eV (InN) and it is a transited [ directly ] type, The photo detector limited to the specific wavelength zone by the side of short wavelength of detecting only ultraviolet radiation via a filter, for example, not detecting visible light by being able to make a euphotic zone thin and using terrorism structure to double etc. is realizable with an easy structure.

[0004]

[Problem to be solved by the invention] However, since it is difficult for a good crystalline gallium nitride system compound semiconductor to be unable to obtain a gallium nitride system compound semiconductor photo detector easily, and to obtain the high element of quantum efficiency with sufficient namely, euphotic sensitivity on problems, such as a presentation and thickness, further, the actual condition is that utilization is not carried out, either. The photo detector in the reliable ultraviolet radiation field which is not influenced by external conditions, such as atmosphere, as a present problem as a photo detector used especially for an astronomic observation is needed. Then, as a result of repeating research wholeheartedly, this invention persons are producing the gallium nitride system compound semiconductor photo detector which solved said problem, and resulted in realization of a reliable photo detector.

[0005]

[Means for solving problem] By composition of following the (1) - (11), this invention can solve SUBJECT mentioned above and can attain the purpose of this invention.

[0006] (1) Between the n type layer and p type layer which consist of a gallium nitride system compound semiconductor, respectively, An PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector, wherein it has terrorism structure to the double provided with the euphotic zone which consists of an i type gallium nitride system compound semiconductor, said euphotic zone consists of undoped  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) and said n type layer consists of GaN(s).

[0007] (2) A gallium nitride system compound semiconductor photo detector given in the above (1) which consists of the 2nd GaN layer by which the n type impurity formed between the 1st GaN layer with said undoped n type layer, and this 1st GaN layer and said euphotic zone was doped.

[0008] (3) Between the n type layer and p type layer which consist of a gallium nitride system compound semiconductor, respectively, An PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector, wherein it has terrorism structure to the double provided with the euphotic zone which consists of an i type gallium nitride system compound semiconductor, said euphotic zone consists of undoped GaN and said n type layer consists of aluminumYGa1-YN ( $0 < Y < 1$ ).

[0009] (4) Between the n type layer and p type layer which consist of a gallium nitride system compound semiconductor, respectively, It has terrorism structure to the double provided with the euphotic zone which consists of an i type gallium nitride system compound semiconductor, An PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector, wherein said euphotic zone consists of undoped InXGa1-XN ( $0 < X < 1$ ) and said n type layer consists of aluminumYGa1-YN ( $0 < Y < 1$ ).

[0010] (5) The above (1), wherein said p type layer has a p type aluminumZGa1-ZN ( $0 \leq Z < 1$ ) layer at least thru/or a given [ one ] in either of (4) PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector.

[0011] (6) Said gallium nitride system compound semiconductor photo detector, The above (1) which has a non-absorption wavelength region where quantum efficiency is located in the both sides of not less than 60% of absorption wavelength region, and this absorption wavelength region and in which said absorption wavelength region was set as not less than 20 nm thru/or the PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector of one of any (5) descriptions.

[0012] (7) Said gallium nitride system compound semiconductor photo detector, It has a non-absorption wavelength region located in the both sides of an absorption wavelength region and this absorption wavelength region, The above (1) said absorption wavelength region has quantum efficiency of 100 times or more of said non-absorption wavelength region, and the range of said whose absorption wavelength region is not less than 20 nm thru/or a given [ one ] in either of (6) PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector.

[0013] (8) The above (1) in which said absorption wavelength region is set up in the wavelength range of 360 to 420 nm thru/or the PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector of one of any (7) descriptions.

[0014] (9) The above (1), wherein the thickness of said euphotic zone is 1500 Å or more and 10000 Å or less thru/or a given in either of (8) PIN type gallium nitride system compound semiconductor photo detector.

[0015] (10) The PIN type gallium nitride system compound semiconductor light emitting device of one of the above (1), wherein the thickness of said n type layer is 1 micrometers or more and 10 micrometers or less thru/or any (9) descriptions.

[0016] (11) A euphotic array, wherein the multiple arrays of the above (1) thru/or the gallium nitride system compound semiconductor photo detector of any one description of the claim (10) are carried out on one substrate.

[0017] That is, by composition of aforementioned (1) - (10), this invention has an optical absorption wavelength zone of predetermined width in 200 nm - 635 nm, and can provide the reliable outstanding gallium nitride system compound semiconductor photo detector which is high sensitivity.

[0018]

[Mode for carrying out the invention] The embodiment concerning this invention is described referring to Drawings below.

(Embodiment 1) Drawing 1 is a type section figure showing the structure of the gallium nitride system compound semiconductor photo detector of Embodiment 1 concerning this invention. To the double into which i type gallium nitride system



compound semiconductor was inserted as a euphotic zone between the n type gallium nitride system compound semiconductor layer (n type layer) and the p type gallium nitride system compound semiconductor layer (p type layer), the photo detector of this Embodiment 1 is terrorism structure a photo detector which it has, and on the silicon on sapphire 101, The buffer layer 102 which consists of GaN(s), and the 1st n type layer 103 that consists of the undoping GaN, The 2nd n type layer 104 that consists of Si dope GaN, and the euphotic zone 105 which consists of the undoping InGaN which is i type gallium nitride system compound semiconductor, It has the lamination which laminated in order the 1st p type layer 106 that consists of Mg-dope AlGa<sub>N</sub>, and the 2nd p type layer 107 that consists of Mg dope GaN. Namely, the 1st n type layer 103 that consists of the (1) undoping GaN, and the 2nd n type layer 104 that consists of Si dope GaN constitute a n type layer from this Embodiment 1, (2) The undoping InGaN constitutes the euphotic zone 105 which is i type gallium nitride system compound semiconductor, and the 1st p type layer 106 that consists of (3) Mg-dope AlGa<sub>N</sub>, and the 2nd p type layer 107 that consists of Mg dope GaN constitute the p type layer.

[0019]in this Embodiment 1, it illustrates so that light may be entered from the silicon-on-sapphire 101 side -- \*\*\*\* (drawing 1) -- from the substrate side, as the photo detector of this invention enters, it can also operate incident light -- it carries out, and from the p type layer side, incident light can also be operated, as it enters. That is, when incident light enters the photo detector of this invention from the substrate side, it is mounted by facedown, and when entering from the p type layer side, it is mounted by face up. As shown in this Embodiment 1, when entering light from the substrate side (i.e., when using a photo detector by facedown), Bandgap energy is larger than a euphotic zone and a n type layer, namely, as it is necessary to use a substrate which is not absorbed with a substrate and this Embodiment 1 is shown in that case, it is most preferred to use silicon on sapphire (for example, C side, R side, and A side are made into a principal surface). However, this invention is not restricted to this and can use an insulating substrate like a spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), SiC, ZnS, ZnO, GaAs, GaN, etc. as a substrate. The nitride semiconductor substrate etc. which are obtained by ELOG (it makes it come using growth of the transverse direction of a nitride semiconductor to grow up) etc. which are written in the Description of JP,H11-191659,A and JP,H11-214744,A, etc. can also be used.

[0020]In order to improve the crystallinity of the nitride semiconductor layer to grow up in the embodiment of the invention 1, form on a substrate the 2nd n type layer 104 that consists of the 1st n type layer 103 and Si dope GaN that consist of the undoping GaN via a buffer layer, but. As for this buffer layer, it is preferred to consider it as the same presentation as the layer formed in contact with that buffer layer top, and to make it grow up at low temperature from the layer on it, and, thereby, it can make the crystallinity of a n type layer fitness more. For example, at this Embodiment 1, a buffer layer is grown up at low temperature 900 \*\* or less using MOVPE method, the 1st n type layer 103 is grown up at an elevated temperature from 900 \*\*, and by this Embodiment 1, since the 1st n type layer is GaN, a buffer layer is taken as GaN.

[0021]In this invention, the n type layer should just be a n type gallium nitride system compound semiconductor at least with larger bandgap energy than a euphotic zone, may be constituted from one gallium nitride system compound semiconductor layer, and may consist of two or more gallium nitride system compound semiconductor layers. When it constitutes a n type layer from two or more layers, the undoped layer may be included and what is necessary is just a n type as a whole in that case. This Embodiment 1 shows the example which combined the 2nd n type layer of the Si dope for the 1st undoped n type layer 103 that touches a buffer layer as a desirable example. Specifically by Embodiment 1, GaN of a Si dope is grown up as the 2nd n type layer 104 that touches GaN undoped as the 1st n type layer 103 that touches a buffer layer, and its 1st n type layer 103. Since this undoped GaN has an effect which makes good the crystallinity of the nitride semiconductor layer grown up on it, the crystallinity of the layer grown up the 2nd n type layer 104 grown up on the 1st n type layer 103 and on it can be made

good.

[0022] Since the 2nd n type layer is a layer which forms n electrode in this Embodiment 1, In order to obtain n electrode and good ohmic contact, as for the amount of Si dopes of the 2nd n type layer, it is preferred to set it as the range of  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  -  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ , and it makes it more preferably more than  $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  in said range. As a n type impurity doped to the 2nd n type layer, germanium, Sn, Sb, etc. other than Si can also be used. As the total thickness of the n type layer which consists of the 1st n type layer and 2nd n type layer, not less than 2 micrometers 10 micrometers or less of not less than 2 micrometers 6 micrometers or less shall be about 4 micrometers most preferably. That the total thickness of a n type layer shall be not less than 2 micrometers can make low quantum efficiency in the non-absorption area 1 which is for absorbing effectively the light which has larger energy than the bandgap energy of a n type layer in a n type layer, and this mentions later (refer to explanation of drawing 2). The total thickness of a n type layer shall be 10 micrometers or less because it will become easy to generate camber in a photo detector, if not less than 10 micrometers is used, and thereby, it can suppress degradation of the quantum efficiency in the absorption wavelength region mentioned later.

[0023] In this invention, i type gallium nitride system compound semiconductor layer in which bandgap energy is smaller than the n type gallium nitride system compound semiconductor and p type gallium nitride system compound semiconductor which are formed in the both sides can be used as a euphotic zone. In this Embodiment 1, a euphotic zone comprises undoped  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ , and the mixed crystal ratio X of In sets to  $0 < X < 1$ , and is taken as the nitride semiconductor in which bandgap energy is smaller than the n type layer which consists of  $\text{GaN}(s)$ . Although this euphotic zone defines it as i type gallium nitride system compound semiconductor, the layer which has not doped the impurity intentionally is made into i type gallium nitride system compound semiconductor in this invention. In order to obtain good euphotic sensitivity as thickness of a euphotic zone (quantum efficiency is made high), 1500 Å - 10000 Å (1500 Å - 6000 Å) (2000 Å - 3500 Å) shall be about 2500 Å most preferably still more preferably.

[0024] In this invention, the p type layer should just be a p type gallium nitride system compound semiconductor at least with larger bandgap energy than a euphotic zone, For example, it can constitute from a gallium nitride system compound semiconductor layer expressed with  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x < 1$ ) which doped the p type impurity. A p type layer may be constituted from one gallium nitride system compound semiconductor layer, and may consist of two or more gallium nitride system compound semiconductor layers. The undoped layer may be included when it constitutes a p type layer from two or more layers. In this Embodiment 1, what  $\text{AlGaIn}$  of a Mg dope is grown up as one desirable form as the 1st p type layer that touches a euphotic zone, and  $\text{GaN}$  of a Mg dope is further grown up for in contact with the 1st p type layer (the 2nd p type layer) constitutes the p type layer from two-layer. As for the amount of Mg dopes doped to this p type layer (the 1st p type layer and 2nd p type layer), it is preferred to set it as the range of  $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  -  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ . The 2nd p type layer that forms p electrode can obtain p lateral electrode and the better ohmic characteristic further in said range by using more than  $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ . As the total thickness of a p type layer, 50 Å or more 1 micrometer or less shall be 100 Å or more 5000 Å or less still more preferably. In this Embodiment 1, aluminum mixed crystal ratio may grow up undoped larger  $\text{AlGaIn}$  than the 1st p type layer by thickness of 100 Å or less in a p type layer as a layer which touches a euphotic zone further. Although it is made to grow up as this layer being undoped, Mg is spread from the layer which adjoins when growing up the p type layer on it, and when carrying out a p type-ized annealing, and it becomes the layer which contained Mg as a result. When this layer is grown up, a photo detector with the still more sufficient characteristic is obtained, and it is desirable.

[0025] In this invention, especially as an electrode, a presentation is limited and foil and various electrode materials can be used. However, in order to obtain the good ohmic characteristic, to the n lateral electrode 109, it is preferred to

use the alloy of nickel-Au for Ti-aluminum and the p lateral electrode 108, and the good ohmic characteristic is obtained between the layers which touch by this, respectively. In the photo detector of this Embodiment 1, n and p electrode are formed as follows. Namely, after laminating the buffer layer 102, the 1st n type layer 103, the 2nd n type layer 104, the euphotic zone 105, the 1st p type layer 106, and the 2nd p type layer 107 in order on the silicon on sapphire 101, A field is secured, in order to expose a part of 2nd n type layer 104 by etching and to form the n electrode 109. And it forms on the 2nd n type layer 104 to which the n electrode 109 was exposed, and the p electrode 108 is formed on the 2nd p type layer 107.

[0026] In the photo detector of Embodiment 1 constituted as mentioned above, a spectrum as shown in drawing 2 is acquired by laminating the gallium nitride system compound semiconductor mentioned above. That is, the light which has larger energy than the bandgap energy of a n type layer in the photo detector of this Embodiment 1 is absorbed in a n type layer, and is not absorbed by a euphotic zone. The wavelength zone absorbed by this n type layer is equivalent to the non-absorption wavelength region 1 in drawing 2. The light which has energy smaller than the bandgap energy of the euphotic zone 105 is not absorbed by the euphotic zone 105. In spite of having reached this euphotic zone 105, the wavelength zone of the light which is not absorbed by the euphotic zone 105 is equivalent to the non-absorption wavelength region 2 in drawing 2. The light which has energy with it from a n type layer by this is selectively absorbed by the euphotic zone 105 (equivalent to the absorption wavelength region in drawing 2). [ than the bandgap energy of the euphotic zone 105 ] [ small bandgap energy and ] [ larger ]

[0027] Thereby, according to the composition of this Embodiment 1, the photo detector which absorbs selectively the light which has the wavelength of the predetermined range can be provided. In the photo detector of this Embodiment 1, as shown in drawing 2, it is not less than 365 nm, and light with a wavelength of 400 nm or less is absorbed selectively, for example. By setting the thickness of a n type layer and a euphotic zone as the predetermined range, in a not less than 20-nm wavelength band, high quantum efficiency of 60% or more can be realized, and it can do with 0.6% or less of quantum efficiency in the non-absorption wavelength regions 1 and 2 in the photo detector of this Embodiment 1. Thus, according to the photo detector of Embodiment 1, the photo detector 100 which has very high selectivity (more than selection-ratio 100 (60%/0.6%) double) is obtained. Thereby in the predetermined range, the photo detector with high reliability with few noises which is not influenced by external conditions, such as atmosphere, is obtained. In this invention, quantum efficiency shows the rate of the output (watt) of the photoelectric current generated from a photo detector, when external quantum efficiency, i.e., 1 W of light, enters, and in other words, the number of carriers which contributes to photoelectric current is \*(ed) with the number of incident light children. In this invention, measurement of quantum efficiency connected between the two electrodes of a photo detector to the direct-current meter, and computed it by measuring the relative sensitivity of a photo detector by monochrome-izing the white light of a 150-mW xenon lamp, and irradiating with it by a monochromator, at right angles to a substrate, from the silicon-on-sapphire side.

[0028] In Embodiment 1 concerning this invention, as mentioned above, it has a selective absorption range which has a light absorption rate beyond predetermined quantum efficiency, but since InGaN is used as a euphotic zone, a maximum of an absorption wavelength of a selective absorption range can be changed by changing a mixed crystal ratio of the In. That is, in this Embodiment 1, a maximum by the side of long wavelength of an absorption wavelength region which has the outstanding optical absorption can be arbitrarily set up by changing a mixed crystal ratio of In of i type gallium nitride system compound semiconductor layer which is a euphotic zone (however, 635 nm or less). In Embodiment 1, since GaN is used as a n type layer, a minimum by the side of short wavelength of an absorption wavelength region is set to 365 nm which is the wavelength of light



corresponding to bandgap energy of GaN. In a photo detector of Embodiment 1, an absorption wavelength region can be set as the range of 365 nm - 635 nm from the above thing.

[0029] Although GaN constituted the 1st n type layer and 2nd n type layer, respectively, this invention is not restricted to this and may constitute the 1st n type layer and 2nd n type layer from Embodiment 1 by AlGa<sub>N</sub>, respectively. thus, bandgap energy being enlarged as compared with a case where it constitutes from GaN, and, if AlGa<sub>N</sub> constitutes the 1st n type layer and 2nd n type layer, respectively. Since the bandgap energy can be changed by changing a mixed crystal ratio of the aluminum, a minimum by the side of short wavelength of an absorption wavelength region can be changed.

[0030] (Embodiment 2) The photo detector of Embodiment 2 concerning this invention, The n type layer which consists of a buffer layer which is a photo detector which can set an absorption wavelength region as the range of 200 nm - 365 nm, and comes from AlGa<sub>N</sub> on silicon on sapphire, and Si-dope AlGa<sub>N</sub>, It has the layer system which laminated in order the euphotic zone which consists of the undoping GaN, and the p type layer which consists of Mg-dope AlGa<sub>N</sub>.

[0031] In the embodiment of the invention 2, a n type layer comprises one layer which consists of AlGa<sub>N</sub>(s) of a Si dope, and n electrode is directly formed in this n type layer. Therefore, in order to obtain good ohmic contact, in the range of  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  -  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ , it is preferred to a n type layer that a n type impurity is doped, and it makes it in said range with more than  $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  more preferably. Although Si can be used by this Embodiment 2 as a n type impurity, germanium, Sn, Sb, etc. may be used. The thickness of the n type layer of Embodiment 2 sets preferably 1 micrometers or more 3 micrometers or less to about 2 micrometers. That the thickness of this n type layer shall be 1 micrometers or more can make low quantum efficiency in the non-absorption area 1 which is for absorbing effectively the light which has larger energy than the bandgap energy of a n type layer in a n type layer, and this mentions later (refer to explanation of drawing 2). The total thickness of a n type layer shall be 3 micrometers or less in order to suppress degradation of the crystallinity of a n type layer, and thereby, it can suppress degradation of the quantum efficiency in the absorption wavelength region mentioned later. It is because it is with Embodiment 1 and Embodiment 2 and the AlGa<sub>N</sub> layer which used by Embodiment 2 that the ranges of the desirable thickness of a n type layer differed as a n type layer does not have good crystallinity compared with the GaN layer of Embodiment 1.

[0032] In this Embodiment 2, i type gallium nitride system compound semiconductor which is a euphotic zone is formed by being undoped and growing up small GaN of bandgap energy from the n type layer which consists of AlGa<sub>N</sub>(s). The thickness of the euphotic zone which consists of this undoping GaN, In order to make euphotic sensitivity high, preferably 1500 Å - 10000 Å, 1500 Å - 6000 Å (2000 Å - 3500 Å) shall be about 2500 Å most preferably still more preferably.

[0033] In the embodiment of the invention 2, a p type layer consists of aluminumZGa<sub>1-Z</sub>N ( $0 \leq Z < 1$ ) which doped the p type impurity, is preferably formed in contact with a euphotic zone, and it is grown up, carrying out a Mg dope as a p type impurity preferably. The amount of Mg dopes doped to a p type layer is preferably made into the range of  $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  -  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  so that p lateral electrode and the good ohmic characteristic can be obtained, and it is made still more preferably more than  $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ . As the total thickness of a p type layer, 50 Å or more 1 micrometer or less shall be 100 Å or more 5000 Å or less still more preferably. AlGa<sub>N</sub> undoped as a layer which touches a euphotic zone is grown up by thickness of 100 Å or less, and it may be made to form an above-mentioned p type layer on it in this invention. Although this undoped AlGa<sub>N</sub> layer is undoped at the time of growth, since Mg is spread from the layer by which Mg which adjoins when growing up the p type layer on it, and when carrying out a p type-ized annealing was doped, it becomes the layer which contained Mg as a result. By growing up this undoped AlGa<sub>N</sub> layer, a photo detector with the still more sufficient characteristic is obtained, and it is desirable.



[0034] In the embodiment of the invention 2, a substrate, a buffer layer, and an electrode are constituted like Embodiment 1.

[0035] The photo detector of Embodiment 2 constituted as mentioned above can set up an absorption wavelength region in the range of 200 nm - 365 nm, and high euphotic sensitivity is obtained like Embodiment 1 in the absorption wavelength region. Also in the photo detector of this Embodiment 2, quantum efficiency is acquired for 60% or more of high selection euphotic characteristic in the range of not less than 20-nm wavelength like Embodiment 1. moreover -- in the photo detector of Embodiment 2 -- the quantum efficiency of a selective wavelength region -- a ratio -- it can do with 100 or more times of the quantum efficiency of a selective wavelength region. External conditions, such as atmosphere, are not influenced by the photo detector of Embodiment 2, but this means being a photo detector with high reliability with few noises.

[0036] As mentioned above, although Embodiment 2 was described, this invention is not restricted to this. this invention -- a euphotic zone -- undoped  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) -- it may be considered as a single layer and a n type layer may be constituted as  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ). By doing in this way, the photo detector which has the optical absorption which was excellent in the selection target in the predetermined range can be provided in 200 nm - 635 nm.

[0037] As mentioned above, although the example constituted using GaN or AlGa<sub>x</sub>N as a n type layer was shown, this invention is not restricted to this and may consist of Embodiments 1 and 2 from a euphotic zone, for example, using InGa<sub>x</sub>N with little content of In as a n type layer, using InGa<sub>x</sub>N as a euphotic zone. If constituted in this way, the minimum by the side of the short wavelength of an absorption wavelength region can be set as not less than 365 nm.

[0038] Therefore, i type gallium nitride system compound semiconductor layer which are a n type layer and a euphotic zone in this invention, By choosing from various gallium nitride system compound semiconductors so that the bandgap energy of a euphotic zone may become smaller than the bandgap energy of a n type layer and a p type layer at least, In 200 nm - 635 nm, the continuous center wavelength and wavelength-range width of an absorption wavelength region which have the outstanding optical absorption can be set up arbitrarily.

[0039] The euphotic array 300 can be constituted by making two or more gallium nitride system compound semiconductor photo detectors concerning this invention arrange, as shown in drawing 3 and drawing 4. The euphotic array constituted in this way can be used for various applied machines as a two-dimensional photo detector (image sensor).

[0040] In this invention, a gallium nitride system compound semiconductor photo detector with more sufficient quantum efficiency can be obtained after creating a gallium nitride system compound semiconductor photo detector by forming a SiO<sub>2</sub> film etc. in a field opposite to the electrode formation face of the electrode of substrates, such as sapphire, as an antireflection film.

[0041]

[Working example] [Working example 1] The buffer layer which comes from GaN at about 500-600 \*\* with MOVPE method on silicon on sapphire is grown up by 200-A thickness, Next, on a buffer layer, a undoped n type GaN layer is grown up by 1.5-micrometer thickness at 1000 \*\*, and the n type GaN layer of a Si dope is grown up by 2.5-micrometer thickness at the same temperature on a still more nearly undoped GaN layer. Next, on the n type GaN layer of a Si dope, it is undoped at 800 \*\* and an i type  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  layer is grown up by 2500-A thickness. Next, on an i type  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  layer, the p type AlGa<sub>x</sub>N layer of a Mg dope is grown up by 200-A thickness at 1000 \*\*, and the p type GaN layer of a Mg dope is grown up by 1500-A thickness at the still more nearly same temperature on a p type AlGa<sub>x</sub>N layer. The substrate which laminated the gallium nitride system compound semiconductor after growth at 700 \*\* After annealing (p type-ized annealing), A part of surface of a p type GaN layer is etched to the n type GaN layer of a Si dope, a n type GaN layer is exposed, n lateral electrode which comes p lateral electrode which comes from the alloy of nickel-Au on a p type GaN

layer from the alloy of Ti-aluminum on a n type GaN layer is formed, and chip making of this is carried out as an element of 1 mm square.

[0042] Between the two electrodes of the photo detector produced by making it above was connected to the direct-current meter, and the relative sensitivity of the photo detector was measured like Embodiment 1 by monochrome-izing the white light of a xenon lamp and irradiating with it by a monochromator, at right angles to a substrate, from the silicon-on-sapphire side. This photo detector showed the euphotic peak by 360 nm - 420 nm, drawing 2 is a graph in which the relation between irradiation wave length and relative spectral sensitivity is shown, and that quantum efficiency was [ the euphotic peak strong in / wavelength / 370 nm - 390 nm was shown especially and ] 60% or more. Furthermore, the sensitivity in wavelength other than a euphotic peak does not almost have this photo detector at 360 nm - 420 nm, It is 1/100 or less [ of the quantum efficiency in 370 nm - 390 nm which showed the quantum efficiency of 60% or more ], and the reliable gallium nitride system compound semiconductor photo detector was able to be obtained by the high sensitivity which hardly detects a noise.

[0043] [Working example 2] The buffer layer which comes from AlGaIn at about 500-600 \*\* with MOVPE method on silicon on sapphire is grown up by 200-A thickness, and then the n type AlGaIn layer of a Si dope is grown up by 2-micrometer thickness at 1000 \*\* on a buffer layer. Next, on the n type AlGaIn layer of a Si dope, undoped i type GaN layer is grown up by 2500-A thickness at the same temperature. Next, on an undoping i type GaN layer, the p type AlGaIn layer of a Mg dope is grown up by 1500-A thickness at 1000 \*\*. The substrate which laminated the gallium nitride system compound semiconductor after growth at 700 \*\* After annealing (p type-ized annealing), Etch a part of surface of a p type AlGaIn layer to the n type AlGaIn layer of a Si dope, and a n type GaN layer is exposed, n lateral electrode which comes p lateral electrode which consists of an alloy of nickel-Au from the alloy of Ti-aluminum on a n type GaN layer is formed on a p type AlGaIn layer, and chip making of this is carried out as an element of 1 mm square.

[0044] This photo detector showed the euphotic peak by 310 nm - 360 nm, in [ wavelength ] 320 nm - 340 nm showed the strong euphotic peak especially, and that quantum efficiency was 60% or more. Furthermore, the sensitivity in wavelength other than a euphotic peak does not almost have this photo detector at 310 nm - 360 nm, It is 1/100 or less [ of the quantum efficiency in 320 nm - 340 nm which showed the quantum efficiency of 60% or more ], and the reliable gallium nitride system compound semiconductor photo detector was able to be obtained by the high sensitivity which hardly detects a noise.

[0045] [Working example 3] By a publicly known method, GaN is grown epitaxially by 3-micrometer thickness on silicon on sapphire. Next, the n type GaN layer of a Si dope is grown up by 2-micrometer thickness on the epitaxially grown GaN layer. Next, undoped i type InGaIn layer is grown up by 2500-A thickness on a n type GaN layer. Next, on i type InGaIn layer, the p type AlGaIn layer of a Mg dope grows up the p type GaN layer of 200 A and a Mg dope by 1500-A thickness.

[0046] The substrate which laminated the gallium nitride system compound semiconductor after growth at 700 \*\* After annealing (p type-ized annealing), Etch a part of surface of a p type GaN layer to the n type GaN layer of a Si dope, and a n type GaN layer is exposed, When n lateral electrode which comes p lateral electrode which consists of an alloy of nickel-Au from the alloy of Ti-aluminum on a n type GaN layer was formed on the p type GaN layer and chip making of this was carried out as an element of 1 mm square, the photo detector which has the same characteristic as working example 1 was able to be obtained.

[0047] [Working example 4] The buffer layer which comes from AlGaIn at about 500-600 \*\* with MOVPE method on silicon on sapphire is grown up by 200-A thickness, and then the n type AlGaIn layer of a Si dope is grown up by 2-micrometer thickness at 1000 \*\* on a buffer layer. Next, on the n type AlGaIn layer of a Si dope, undoped i type InGaIn layer is grown up by 2500-A thickness at the same temperature. Next, on an undoping i type InGaIn layer, the p type AlGaIn

layer of a Mg dope is grown up by 200-A thickness at 1000 \*\*, and the p type GaN layer of a Mg dope is grown up by 1500-A thickness at the still more nearly same temperature on a p type AlGaIn layer. The substrate which laminated the gallium nitride system compound semiconductor after growth at 700 \*\*. After annealing (p type-ized annealing), Etch a part of surface of a p type AlGaIn layer to the n type AlGaIn layer of a Si dope, and a n type GaN layer is exposed, n lateral electrode which comes p lateral electrode which consists of an alloy of nickel-Au from the alloy of Ti-aluminum on a n type GaN layer is formed on a p type AlGaIn layer, and chip making of this is carried out as an element of 1 mm square.

[0048]This photo detector showed the euphotic peak by 310 nm - 420 nm, in [ wavelength ] 320 nm - 390 nm showed the strong euphotic peak especially, and that quantum efficiency was 60% or more. Furthermore, the sensitivity in wavelength other than a euphotic peak does not almost have this photo detector at 310 nm - 420 nm, It is 1/100 or less [ of the quantum efficiency in 320 nm - 390 nm which showed the quantum efficiency of 60% or more ], and the reliable gallium nitride system compound semiconductor photo detector was able to be obtained by the high sensitivity which hardly detects a noise.

[0049][Working example 5] A gallium nitride system compound semiconductor is laminated to a p type layer on silicon on sapphire, Produce like working example 1 until it carries out a p type-ized annealing, and then, etch a part of surface of a p type GaN layer into dot form to the n type GaN layer of a Si dope like drawing 3, and a n type GaN layer is exposed, n lateral electrode which forms p lateral electrode which consists of an alloy of nickel-Au on a p type GaN layer, and consists of an alloy of Ti-Au, The p type GaN layer which remained is formed in the circumference so that 100x100 pieces may be surrounded, Furthermore, the substrate was cut by the outer peripheral part of n lateral electrode, and when the euphotic array which consists of a gallium nitride system compound semiconductor of 8 mm squares was produced, the euphotic array of the facedown which has the same characteristic as working example 1 was made, and it was able to install in various measuring equipment.

[0050]

[Effect of the Invention]By producing the gallium nitride system compound semiconductor photo detector of the above element structures, the photo detector with the high reliability of high sensitivity limited to the specific wavelength zone by the side of short wavelength, such as ultraviolet radiation, and the euphotic array were able to be realized.

---

#### DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]The type section figure showing the structure of the photo detector of one working example of this invention.

[Drawing 2]The figure showing the relation of the wavelength and quantum efficiency with which the photo detector of one working example of this invention is irradiated.

[Drawing 3]The type section figure showing the structure of a euphotic array where the photo detector of one working example of this invention was arranged.

[Drawing 4]The figure which looked at the euphotic array by which the photo detector of one working example of this invention was arranged from the electrode side.

[Explanations of letters or numerals]

100 -- Gallium nitride system compound semiconductor photo detector,

101, 301 -- Substrate,

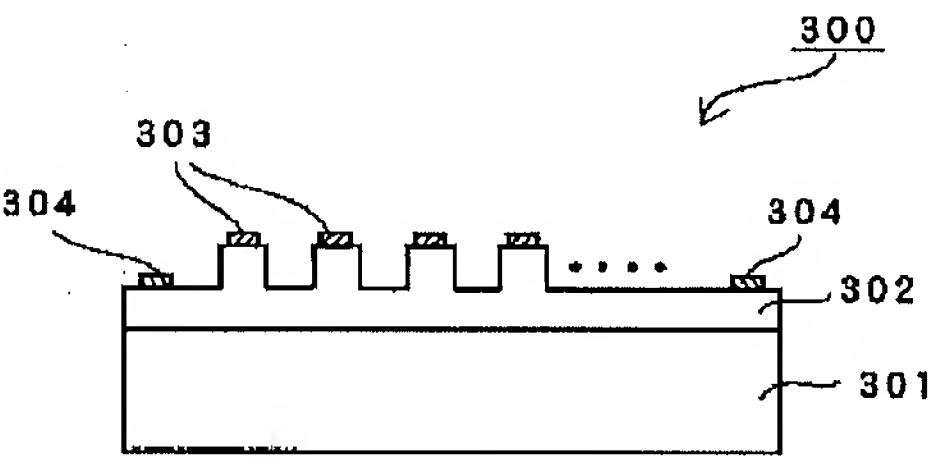
102 -- Buffer layer



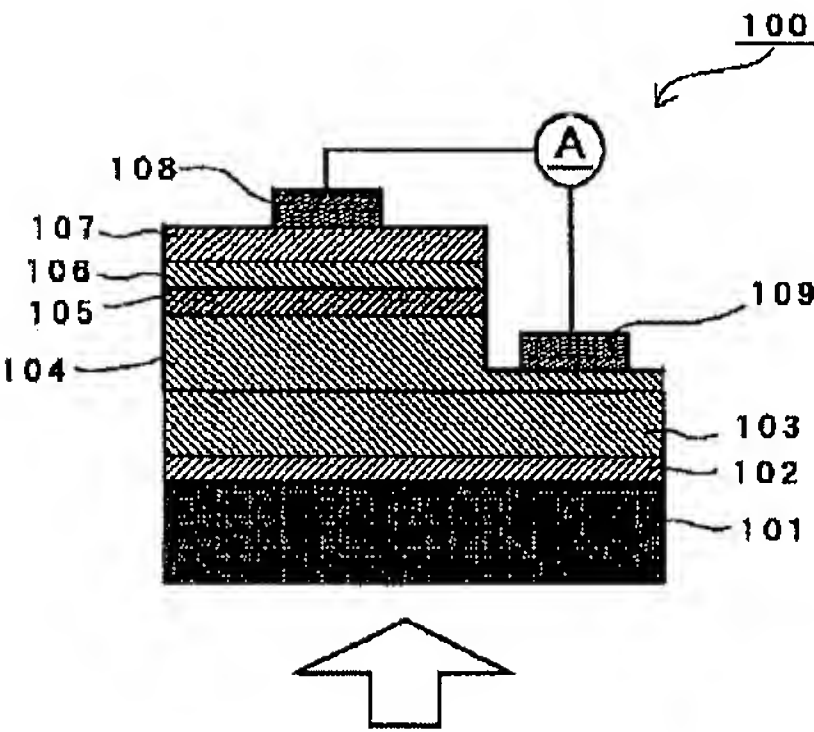
103 -- The 1st n type layer,  
104, 305 -- The 2nd n type layer,  
105 -- Euphotic zone,  
106 -- The 1st p type layer,  
107, 306 -- The 2nd p type layer,  
108, 303 -- p lateral electrode,  
109, 304 -- n lateral electrode,  
300 -- Euphotic array which consists of a gallium nitride system compound semiconductor,  
302 -- Gallium nitride system compound semiconductor.

DRAWINGS

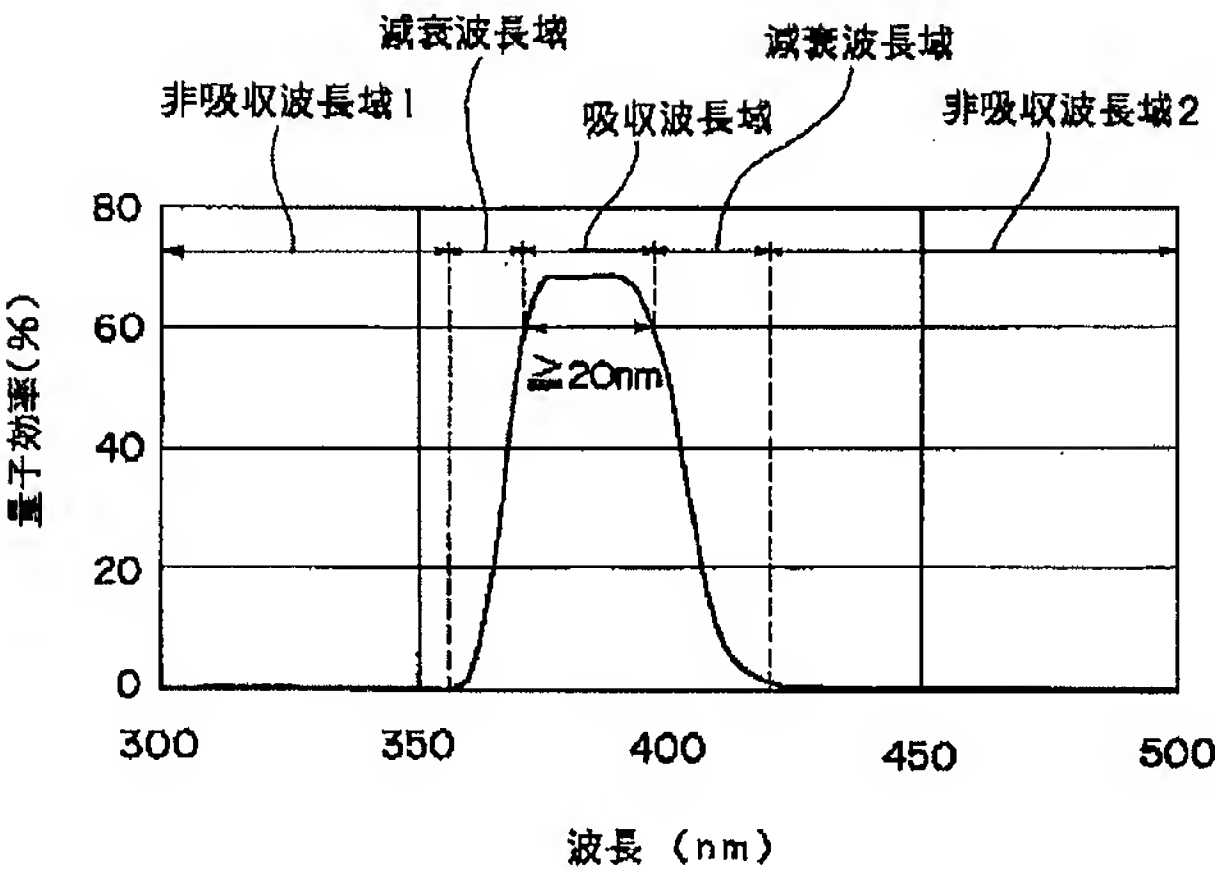
[Drawing 3]



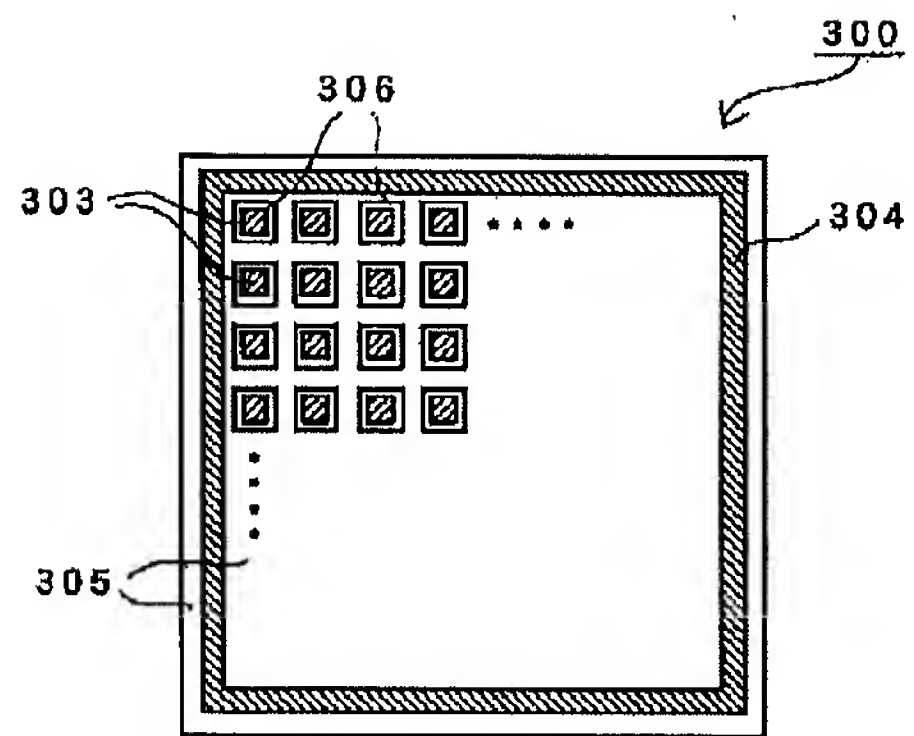
[Drawing 1]



[Drawing 2]



[Drawing 4]



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-83996  
(P2002-83996A)

(43)公開日 平成14年3月22日(2002.3.22)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード*(参考)
H 0 1 L 31/10		H 0 1 L 31/10	A 4 M 1 1 8
27/14		27/14	K 5 F 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 9 頁)

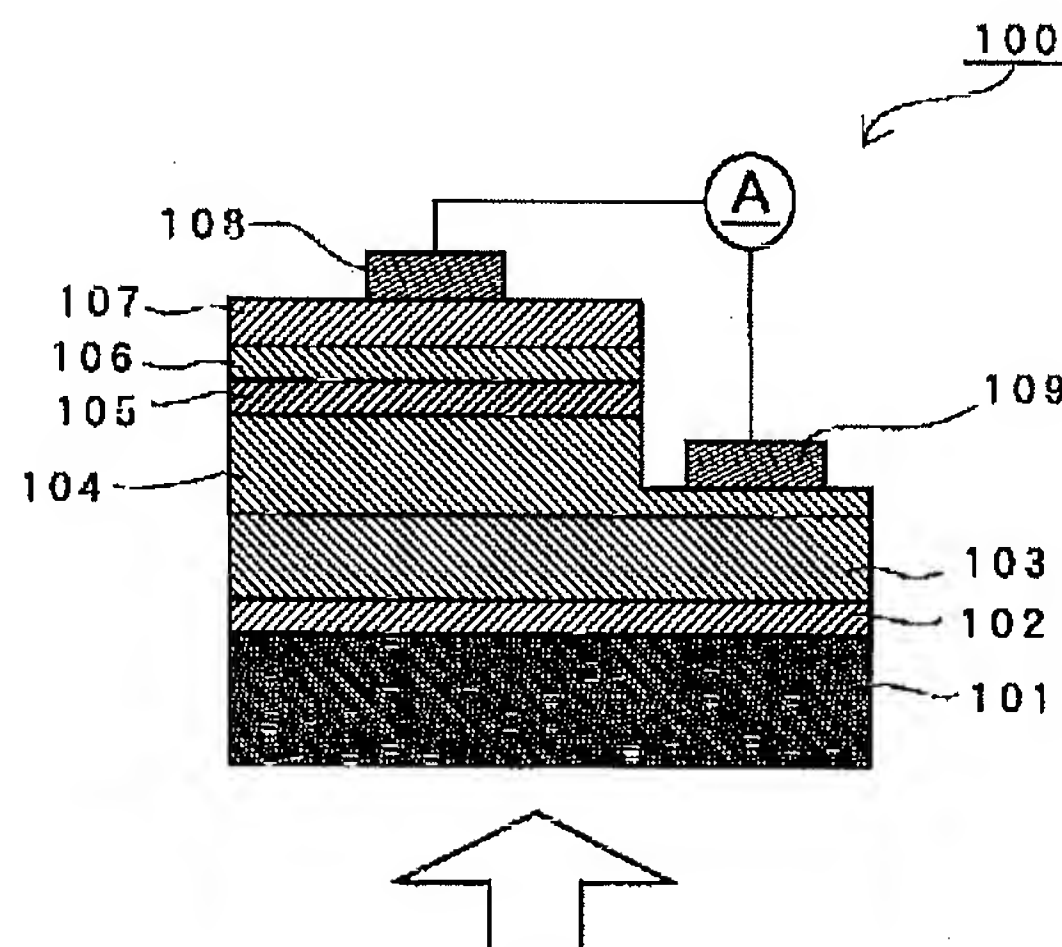
(21)出願番号	特願2000-288256(P2000-288256)	(71)出願人	000226057 日亜化学工業株式会社 徳島県阿南市上中町岡491番地100
(22)出願日	平成12年9月22日(2000.9.22)	(72)発明者	山田 元彦 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2000-187072(P2000-187072)	(74)代理人	100074354 弁理士 豊栖 康弘 (外1名)
(32)優先日	平成12年6月22日(2000.6.22)	Fターム(参考)	4M118 AA01 AB01 BA06 CA05 CB01 CB14 EA01 GA02 GA10 5F049 MA04 MB03 MB07 NA05 NA10 QA02 RA02 SS01 WA05
(33)優先権主張国	日本 (J P)		

(54)【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体受光素子及びそれを用いた受光アレイ

(57)【要約】

【課題】 紫外から可視領域までの領域で特定の波長範囲において選択的に高い感度を有しかつ信頼性に優れた受光素子を提供する。

【解決手段】 それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、受光層はアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ )とし、n型層はGa<sub>2</sub>Nとする。





【特許請求の範囲】

【請求項1】 それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、

前記受光層はアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) からなり、

前記n型層はGa<sub>1</sub>Nからなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項2】 前記n型層はアンドープの第1のGa<sub>1</sub>N層と、該第1のGa<sub>1</sub>N層と前記受光層との間に形成されたn型不純物がドーパされた第2のGa<sub>1</sub>N層とからなる請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項3】 それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、

前記受光層はアンドープのGa<sub>1</sub>Nからなり、

前記n型層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ) からなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項4】 それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、

前記受光層はアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) からなり、

前記n型層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ) からなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項5】 前記p型層は少なくともp型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $0 \leq z < 1$ ) 層を有することを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項6】 前記窒化ガリウム系化合物半導体受光素子は、量子効率が60%以上の吸収波長域と該吸収波長域の両側に位置する非吸収波長域を有し、前記吸収波長域が20nm以上に設定された請求項1乃至5のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項7】 前記窒化ガリウム系化合物半導体受光素子は、吸収波長域と該吸収波長域の両側に位置する非吸収波長域を有し、前記吸収波長域は前記非吸収波長域の100倍以上の量子効率を有しかつ前記吸収波長域は20nm以上の範囲である請求項1乃至6のうちのいずれかに1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項8】 前記吸収波長域は、360nmから420nmの波長範囲において設定されている請求項1乃至7のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガリウ

ム系化合物半導体受光素子。

【請求項9】 前記受光層の膜厚は、1500オングストローム以上、10000オングストローム以下であることを特徴とする請求項1乃至8のうちのいずれかに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項10】 前記n型層の膜厚は1μm以上、10μm以下であることを特徴とする請求項1乃至9のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項11】 前記請求項1乃至請求項10のいずれか1つに記載の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子が1つの基板上に複数配列されたことを特徴とする受光アレイ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はフォトダイオード、太陽電池等を使用される半導体受光素子に関し、特に窒化ガリウム系化合物半導体 ( $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ 、 $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ ) を用いた受光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】光を検出する半導体を用いた受光素子として、赤外光の検知には $\text{InGaP}$ 、 $\text{InP}$ を用いた素子などが広く実用化されている。また、紫外光を検知する受光素子はSiを用いた受光素子が実用化されているが、まだ望まれた特性を有したものとはいえない。紫外光を検知する受光素子は、火災センサ、ミサイル検知器、天体観測などへの用途が考えられる。Siを用いた受光素子はPN接合型、PIN接合型とどちらも実用化されているが、Siが間接遷移型の半導体であるため、受光層をマイクロオーダーで成膜する必要があり、またダブルヘテロ構造ができないので、p層やn層でも光が吸収され、受光層に到達する光の量が少なくなるという問題がある。また、可視光 (例えば400nm以上) でも受光特性を示すため、紫外光 (例えば400nm以下) のみを検知する受光素子として利用するためには可視光が受光しないようなフィルタを介する必要がある、またバンドギャップが小さいために熱によるノイズも問題になる。

【0003】 $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$  ( $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ ) からなる窒化ガリウム系化合物半導体は6.0eV (AlN) から1.95eV (InN) までの広範囲なバンドギャップエネルギーを有する材料であり、直接遷移型であるため、受光層を薄くでき、またダブルヘテロ構造を用いることで、フィルタを介することなく例えば紫外光のみを検知し、可視光を検知しないなどといった、短波長側の特定の波長領域に限定した受光素子を簡単な構造で実現することができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら窒化ガリ

ウム系化合物半導体受光素子は結晶性の良い窒化ガリウム系化合物半導体が得にくく、さらに組成、膜厚等の問題で、受光感度の良いすなわち量子効率の高い素子を得ることが困難であることから、実用化もされていないのが現状である。特に天体観測に使用する受光素子としては現状の問題として雰囲気等の外部条件に影響されない、信頼性の高い紫外光領域での受光素子が必要となっている。そこで本発明者らは鋭意研究を重ねた結果、前記問題を解決した窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を作製することで、信頼性の高い受光素子の実現に至った。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は下記(1)～(11)の構成により、上述した課題を解決することができ、本発明の目的を達成することができる。

【0006】(1)それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、前記受光層はアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) からなり、前記n型層はGa<sub>2</sub>Nからなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0007】(2)前記n型層はアンドープの第1のGa<sub>2</sub>N層と、該第1のGa<sub>2</sub>N層と前記受光層との間に形成されたn型不純物がドーパされた第2のGa<sub>2</sub>N層とからなる前記(1)に記載の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0008】(3)それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、前記受光層はアンドープのGa<sub>2</sub>Nからなり、前記n型層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ) からなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0009】(4)それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、前記受光層はアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) からなり、前記n型層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ) からなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0010】(5)前記p型層は少なくともp型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $0 \leq z < 1$ ) 層を有することを特徴とする前記(1)乃至(4)のいずれかに1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0011】(6)前記窒化ガリウム系化合物半導体受光素子は、量子効率が60%以上の吸収波長域と該吸収波長域の両側に位置する非吸収波長域を有し、前記吸収波長域が20nm以上に設定された前記(1)乃至

(5)のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガ

リウム系化合物半導体受光素子。

【0012】(7)前記窒化ガリウム系化合物半導体受光素子は、吸収波長域と該吸収波長域の両側に位置する非吸収波長域を有し、前記吸収波長域は前記非吸収波長域の100倍以上の量子効率を有しかつ前記吸収波長域は20nm以上の範囲である前記(1)乃至(6)のうちのいずれかに1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0013】(8)前記吸収波長域は、360nmから420nmの波長範囲において設定されている前記

(1)乃至(7)のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0014】(9)前記受光層の膜厚は、1500オングストローム以上、10000オングストローム以下であることを特徴とする前記(1)乃至(8)のうちのいずれかに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0015】(10)前記n型層の膜厚は1μm以上、10μm以下であることを特徴とする前記(1)乃至(9)のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【0016】(11)前記(1)乃至請求項(10)のいずれか1つに記載の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子が1つの基板上に複数配列されたことを特徴とする受光アレイ。

【0017】つまり、本発明は前記(1)～(10)の構成により、200nm～635nmにおいて所定の幅の光吸収波長領域を有し、高感度でかつ信頼性の高い、優れた窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を提供することができる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下に図面を参照しながら本発明に係る実施の形態について説明する。

(実施の形態1)図1は本発明に係る実施の形態1の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子の構造を示す模式断面図である。本実施の形態1の受光素子は、n型窒化ガリウム系化合物半導体層(n型層)とp型窒化ガリウム系化合物半導体層(p型層)との間に受光層としてi型窒化ガリウム系化合物半導体が挟まれたダブルヘテロ構造を有する受光素子であって、サファイア基板101上に、Ga<sub>2</sub>Nよりなるバッファ層102と、アンドープGa<sub>2</sub>Nからなる第1のn型層103と、SiドーパGa<sub>2</sub>Nからなる第2のn型層104と、i型窒化ガリウム系化合物半導体であるアンドープInGa<sub>2</sub>Nからなる受光層105と、MgドーパAlGa<sub>2</sub>Nからなる第1のp型層106と、MgドーパGa<sub>2</sub>Nからなる第2のp型層107とを順に積層した層構成を有している。すなわち、本実施の形態1では、(1)アンドープGa<sub>2</sub>Nからなる第1のn型層103とSiドーパGa<sub>2</sub>Nからなる第2のn型層104とによってn型層を構成し、(2)アンドー



プInGa<sub>N</sub>によってi型窒化ガリウム系化合物半導体である受光層105を構成し、(3)MgドープAlGa<sub>N</sub>からなる第1のp型層106とMgドープGa<sub>N</sub>からなる第2のp型層107とによってp型層を構成している。

【0019】また、本実施の形態1では、サファイア基板101側から光を入射させるように図示している(図1)が、本発明の受光素子は、入射光を基板側から入射するようにして動作させることもできるし、入射光をp型層側から入射するようにして動作させることもできる。すなわち、本発明の受光素子は入射光が基板側から入射させるときにはフェイスダウンで実装し、p型層側から入射させるときにはフェイスアップで実装する。この実施の形態1に示すように、基板側から光を入射させる場合、すなわち受光素子をフェイスダウンで用いる場合は、受光層とn型層よりもバンドギャップエネルギーの大きい、すなわち基板で吸収されないような基板を用いる必要があり、その場合は本実施の形態1において示すように、サファイア基板(例えばC面、R面、A面を主面とする)を用いることが最も好ましい。しかしながら本発明はこれに限られるものではなく、その他に、スピネル(MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)のような絶縁性基板、SiC、ZnS、ZnO、GaAs、Ga<sub>N</sub>等を基板として用いることができる。また特開平11-191659号、特開平11-214744号の明細書等に記載されているELOG(窒化物半導体の横方向の成長を利用して成長させてなる)等により得られる窒化物半導体基板等を用いることもできる。

【0020】また、本発明の実施の形態1においては、成長させる窒化物半導体層の結晶性を良くするために、基板上にバッファ層を介してアンドープGa<sub>N</sub>からなる第1のn型層103及びSiドープGa<sub>N</sub>からなる第2のn型層104を形成しているが、このバッファ層はそのバッファ層上に接して形成する層と同一組成としかつその上の層より低温で成長させることが好ましく、これによりn型層の結晶性をより良好にすることができる。例えば、本実施の形態1では、MOVPE法を用いて900℃以下の低温でバッファ層を成長させ、900℃より高温で第1のn型層103を成長させ、本実施の形態1では第1のn型層がGa<sub>N</sub>であるためバッファ層はGa<sub>N</sub>とする。

【0021】本発明において、n型層は少なくとも受光層よりバンドギャップエネルギーの大きいn型窒化ガリウム系化合物半導体であればよく、1つの窒化ガリウム系化合物半導体層で構成してもよいし、2以上の窒化ガリウム系化合物半導体層で構成してもよい。また、n型層を2以上の層で構成する場合は、アンドープの層を含んでいてもよく、その場合は全体としてn型となっていればよい。本実施の形態1では、好ましい例として、バッファ層に接するアンドープの第1のn型層103とを

Siドープの第2のn型層とを組み合わせる例を示している。具体的には、実施の形態1では、バッファ層に接する第1のn型層103としてアンドープのGa<sub>N</sub>、その第1のn型層103に接する第2のn型層104としてSiドープのGa<sub>N</sub>を成長させる。このアンドープのGa<sub>N</sub>はその上に成長させる窒化物半導体層の結晶性を良好にする効果があるので、第1のn型層103の上に成長させる第2のn型層104及びその上に成長させる層の結晶性を良好にできる。

【0022】また、本実施の形態1において、第2のn型層はn電極を形成する層であるので、n電極と良好なオーミック接触を得るために、第2のn型層のSiドープ量は $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲に設定することが好ましく、より好ましくは前記範囲において $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上とする。また、第2のn型層にドープするn型不純物としては、Siの他にGe、Sn、Sb等を用いることもできる。また第1のn型層と第2のn型層とからなるn型層の総膜厚としては2μm以上10μm以下、好ましくは2μm以上6μm以下、最も好ましくは4μm程度とする。n型層の総膜厚を、2μm以上とするのはn型層のバンドギャップエネルギーより大きいエネルギーを有する光をn型層において効果的に吸収するためであり、これにより後述する非吸収領域1における量子効率を低くすることができる

(図2の説明参照)。また、n型層の総膜厚を、10μm以下とするのは10μm以上にすると受光素子にそりが発生しやすくなるからであり、これにより、後述する吸収波長域における量子効率の劣化を抑えることができる。

【0023】本発明において、受光層としてはその両側に形成されるn型窒化ガリウム系化合物半導体及びp型窒化ガリウム系化合物半導体よりバンドギャップエネルギーの小さいi型窒化ガリウム系化合物半導体層を用いることができる。本実施の形態1において、受光層はアンドープのIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nから成りInの混晶比Xは $0 < X < 1$ とし、Ga<sub>N</sub>からなるn型層よりもバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体とする。この受光層はi型窒化ガリウム系化合物半導体と定義しているが、本発明では故意に不純物をドープしていない層をi型窒化ガリウム系化合物半導体としている。受光層の膜厚としては、良好な受光感度を得る(量子効率を高くする)ために、1500オングストローム～10000オングストローム、より好ましくは1500オングストローム～6000オングストローム、更に好ましくは2000オングストローム～3500オングストローム、最も好ましくは2500オングストローム程度とする。

【0024】本発明において、p型層は少なくとも受光層よりバンドギャップエネルギーの大きいp型窒化ガリウム系化合物半導体であればよく、例えば、p型不純物をドープしたAl<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N ( $0 \leq z < 1$ )で表される



窒化ガリウム系化合物半導体層で構成することができる。また、p型層は1つの窒化ガリウム系化合物半導体層で構成してもよいし、2以上の窒化ガリウム系化合物半導体層で構成してもよい。また、p型層を2以上の層で構成する場合は、アンドープの層を含んでいてもよい。本実施の形態1において、p型層は、好ましい1つの形態として、受光層に接する第1のp型層としてMgドープのAlGa<sub>0.99</sub>Nを成長させ、さらに第1のp型層に接してMgドープのGa<sub>0.99</sub>Nを成長させる（第2のp型層）ことにより2層で構成している。このp型層（第1のp型層及び第2のp型層）にドープするMgドープ量は $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲に設定することが好ましい。また、p電極を形成する第2のp型層は、前記範囲においてさらに $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上とすることで、p側電極とより良好なオーミック特性を得ることができる。またp型層の総膜厚としては500 Å以上1 μm以下、さらに好ましくは1000 Å以上5000 Å以下とする。本実施の形態1においては、さらにp型層において、受光層に接する層としてAl混晶比が第1のp型層より大きいアンドープのAlGa<sub>0.99</sub>Nを100 Å以下の膜厚で成長させてもよい。この層はアンドープとして成長させるが、その上のp型層を成長させる際、またp型化アニールをする際に隣接する層からMgが拡散され、結果的にMgを含んだ層となる。この層を成長させるとさらに特性のよい受光素子が得られ、好ましい。

【0025】本発明において、電極としては特に組成が限定されるものではなく、種々の電極材料を用いることができる。しかしながら、良好なオーミック特性を得るために、n側電極109にはTi-Al、p側電極108にはNi-Auの合金を用いることが好ましく、これによりそれぞれ接する層との間で良好なオーミック特性が得られる。本実施の形態1の受光素子では、以下のようにしてn及びp電極を形成している。すなわち、サファイア基板101上に、バッファ層102、第1のn型層103、第2のn型層104、受光層105、第1のp型層106及び第2のp型層107を順に積層した後、エッチングにより第2のn型層104の一部を露出させてn電極109を形成するために領域を確保する。そして、n電極109を露出させた第2のn型層104上に形成し、p電極108を第2のp型層107上に形成する。

【0026】以上のように構成された実施の形態1の受光素子において、上述した窒化ガリウム系化合物半導体を積層することにより、図2に示すようなスペクトルが得られる。すなわち、本実施の形態1の受光素子では、n型層のバンドギャップエネルギーより大きいエネルギーを有する光は、n型層において吸収され受光層では吸収されない。このn型層で吸収される波長領域が図2に

おける非吸収波長域1に相当する。また、受光層105のバンドギャップエネルギーより小さいエネルギーを有する光は、受光層105で吸収されることはない。この受光層105に到達したにもかかわらず受光層105で吸収されない光の波長領域が図2における非吸収波長域2に相当する。これにより、n型層よりバンドギャップエネルギーが小さく受光層105のバンドギャップエネルギーより大きいエネルギーを有する光が受光層105で選択的に吸収される（図2における吸収波長域に相当）。

【0027】これにより、本実施の形態1の構成によれば、所定の範囲の波長を有する光を選択的に吸収する受光素子を提供することができる。本実施の形態1の受光素子においては、例えば、図2に示すように、365 nm以上であってかつ400 nm以下の波長の光が選択的に吸収される。また、本実施の形態1の受光素子では、n型層及び受光層の膜厚を所定の範囲に設定することにより、20 nm以上の波長域において、60パーセント以上の高い量子効率を実現でき、かつ非吸収波長域1、2において量子効率0.6%以下とできる。このように、実施の形態1の受光素子によれば、極めて高い選択性を有する（選択比100（60%/0.6%）倍以上）の受光素子100が得られる。これにより所定の範囲において、雰囲気等の外部条件に影響されることのない、ノイズの少ない信頼性の高い受光素子が得られる。尚、本発明において、量子効率とは外部量子効率、すなわち、1ワットの光が入射したときに受光素子から発生する光電流の出力（ワット）の割合を示しており、言い換えれば光電流に寄与するキャリア数を入射光子数で除したものである。また、本発明において、量子効率の測定は、受光素子の両電極間を直流電流計に接続し、サファイア基板側から基板に垂直に150 mWのキセノンランプの白色光をモノクロメーターで単色化して照射することにより受光素子の相対感度を測定することにより算出した。

【0028】また、本発明に係る実施の形態1では、上述したように所定の量子効率以上の光吸収率を有する選択吸収範囲を有しているが、受光層としてInGa<sub>0.99</sub>Nを用いているので、そのInの混晶比を変化させることにより選択吸収範囲の吸収波長の上限を変化させることができる。すなわち、本実施の形態1においては、受光層であるi型窒化ガリウム系化合物半導体層のInの混晶比を、変化させることにより、優れた光吸収を有する吸収波長域の長波長側の上限を任意に設定（但し、635 nm以下）することができる。また、実施の形態1では、n型層としてGa<sub>0.99</sub>Nを用いているので、吸収波長域の短波長側の下限は、Ga<sub>0.99</sub>Nのバンドギャップエネルギーに対応する光の波長である365 nmとなる。以上のことから実施の形態1の受光素子では、365 nm～635 nmの範囲に吸収波長域を設定することができる。

【0029】また、実施の形態1では、第1のn型層及び第2のn型層をそれぞれGa<sub>0.9</sub>Nにより構成したが、本発明はこれに限られるものではなく、第1のn型層及び第2のn型層をそれぞれAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nにより構成してもよい。このように、第1のn型層及び第2のn型層をそれぞれAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nにより構成するとGa<sub>0.9</sub>Nで構成したばあいと比較してバンドギャップエネルギーを大きくすることができかつ、そのAlの混晶比を変化させることによりそのバンドギャップエネルギーを変化させることができるので、吸収波長域の短波長側の下限を変化させることができる。

【0030】(実施の形態2) 本発明に係る実施の形態2の受光素子は、200nm～365nmの範囲に吸収波長域を設定することができる受光素子であって、サファイア基板上にAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるバッファ層とSiドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなるn型層と、アンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる受光層と、MgドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなるp型層とを順に積層した層構造を有する。

【0031】本発明の実施の形態2において、n型層はSiドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなる1つの層で構成され、このn型層にn電極が直接形成される。従って、n型層には、良好なオーミック接触を得るために $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲でn型不純物がドープされることが好ましく、より好ましくは前記範囲において $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上とする。また、n型不純物としては、本実施の形態2では例えばSiを用いることができるが、その他にGe、Sn、Sb等を用いてもよい。さらに、実施の形態2のn型層の膜厚は、1 $\mu\text{m}$ 以上3 $\mu\text{m}$ 以下、好ましくは2 $\mu\text{m}$ 程度とする。このn型層の膜厚を1 $\mu\text{m}$ 以上とするのはn型層のバンドギャップエネルギーより大きいエネルギーを有する光をn型層において効果的に吸収するためであり、これにより後述する非吸収領域1における量子効率を低くすることができる(図2の説明参照)。また、n型層の総膜厚を、3 $\mu\text{m}$ 以下とするのは、n型層の結晶性の劣化を抑えるためであり、これにより、後述する吸収波長域における量子効率の劣化を抑えることができる。尚、実施の形態1と実施の形態2とで、n型層の好ましい膜厚の範囲が異なるのは、実施の形態2でn型層として用いたAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層は、実施の形態1のGa<sub>0.9</sub>N層に比べて結晶性がよくないためである。

【0032】本実施の形態2において、受光層であるi型窒化ガリウム系化合物半導体は、Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなるn型層よりバンドギャップエネルギーの小さいGa<sub>0.9</sub>Nをアンドープで成長させることにより形成する。このアンドープGa<sub>0.9</sub>Nからなる受光層の膜厚は、受光感度を高くするために、好ましくは1500オングストローム～10000オングストローム、より好ましくは1500オングストローム～6000オングストローム、更に好ましくは2000オングストローム～3500オングスト

ローム、最も好ましくは2500オングストローム程度とする。

【0033】本発明の実施の形態2において、p型層はp型不純物をドープしたAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N ( $0 \leq Z < 1$ ) からなり、好ましくは受光層に接して形成し、好ましくはp型不純物としてMgドープしながら成長させる。p型層にドープするMgドープ量は、p側電極と良好なオーミック特性を得ることができるように好ましくは $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲とし、さらに好ましくは $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上とする。またp型層の総膜厚としては50オングストローム以上1 $\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは100オングストローム以上500オングストローム以下とする。また本発明では、受光層に接する層としてアンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nを100オングストローム以下の膜厚で成長させてその上に上述のp型層を形成するようにしてもよい。このアンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層は成長時はアンドープであるが、その上のp型層を成長させる際、またp型化アニールをする際に隣接するMgがドープされた層からMgが拡散されるので結果的にMgを含んだ層となる。このアンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層を成長させることによりさらに特性のよい受光素子が得られ、好ましい。

【0034】本発明の実施の形態2において、基板、バッファ層および電極は実施の形態1と同様に構成される。

【0035】以上のように構成された実施の形態2の受光素子は、200nm～365nmの範囲において吸収波長域を設定することができ、その吸収波長域において実施の形態1と同様、高い受光感度を得られる。本実施の形態2の受光素子においても、実施の形態1と同様、20nm以上の波長の範囲において量子効率が60パーセント以上の高い選択受光特性が得られる。また、実施の形態2の受光素子においても、選択波長領域の量子効率を比選択波長領域の量子効率の100倍以上とできる。これは実施の形態2の受光素子により、雰囲気等の外部条件の影響されず、ノイズの少ない信頼性の高い受光素子であることを意味する。

【0036】以上、実施の形態2について説明したが、本発明はこれに限られるものではない。本発明では、例えば、受光層をアンドープのIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ( $0 < X < 1$ ) 単一の層とし、n型層をAl<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N ( $0 < Y < 1$ ) として構成してもよい。このようにすることにより、200nm～635nmにおいて、所定の範囲で選択的に優れた光吸収を有する受光素子を提供することができる。

【0037】以上、実施の形態1、2では、n型層としてGa<sub>0.9</sub>N又はAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nを用いて構成した例を示したが、本発明はこれに限られるものではなく、例えば、受光層としてInGa<sub>0.9</sub>Nを用い、n型層として受光層よりInの含有量の少ないInGa<sub>0.9</sub>Nを用いて構成してもよ



い。このように構成すると、吸収波長域の短波長側の下限を365nm以上に設定することができる。

【0038】従って、本発明において、n型層及び受光層であるi型窒化ガリウム系化合物半導体層を、少なくとも受光層のバンドギャップエネルギーがn型層及びp型層のバンドギャップエネルギーより小さくなるように種々の窒化ガリウム系化合物半導体の中から選択することにより、200nm～635nmにおいて、優れた光吸収を有する連続した吸収波長域の中心波長及び波長域幅を任意に設定することができる。

【0039】さらに、本発明に係る窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を、図3及び図4に示すように複数個配列させることにより受光アレイ300を構成することができる。このように構成された受光アレイは、2次元受光素子（イメージセンサ）として種々の応用機器に用いることができる。

【0040】また本発明において、窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を作成後、サファイアなどの基板の電極の電極形成面とは反対の面に反射防止膜としてSiO<sub>2</sub>膜などを形成することでより量子効率の良い窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を得ることができる。

【0041】

【実施例】[実施例1] サファイア基板上にMOVPE法により約500～600℃でGaNよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させ、次にバッファ層の上に、1000℃でアンドープのn型GaN層を1.5μmの膜厚で成長させ、さらにアンドープのGaN層の上に、同様の温度でSiドープのn型GaN層を2.5μmの膜厚で成長させる。次にSiドープのn型GaN層の上に、800℃でアンドープでi型In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層を2500オングストロームの膜厚で成長させる。次にi型In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層の上に、1000℃でMgドープのp型AlGaN層を200オングストロームの膜厚で成長させ、さらにp型AlGaN層の上に、同様の温度でMgドープのp型GaN層を1500オングストロームの膜厚で成長させる。成長後、窒化ガリウム系化合物半導体を積層した基板を700℃でアニーリング（p型化アニール）後、p型GaN層の表面の一部をSiドープのn型GaN層までエッチングしてn型GaN層を露出させ、p型GaN層の上にNi-Auの合金よりなるp側電極を、n型GaN層の上にTi-Alの合金よりなるn側電極を形成し、これを1mm角の素子としてチップ化する。

【0042】以上のようにして得られた受光素子の両電極間を直流電流計に接続し、サファイア基板側から基板に垂直にキセノンランプの白色光をモノクロメーターで単色化して照射することにより実施の形態1と同様にして、受光素子の相対感度を測定した。図2は照射波長と相対分光感度の関係を示すグラフであり、この受光素子は360nm～420nmで受光ピークを示し、特に3

70nm～390nmの波長範囲では強い受光ピークを示し、その量子効率は60パーセント以上であった。さらにこの受光素子は360nm～420nmで受光ピーク以外の波長での感度はほとんどなく、60パーセント以上の量子効率を示した370nm～390nmでの量子効率の1/100以下であり、ノイズをほとんど検出しない、高感度で信頼性の高い窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を得ることが出来た。

【0043】[実施例2] サファイア基板上にMOVPE法により約500～600℃でAlGaNよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させ、次にバッファ層の上に、1000℃でSiドープのn型AlGaN層を2μmの膜厚で成長させる。次にSiドープのn型AlGaN層の上に、同様の温度で、アンドープのi型GaN層を2500オングストロームの膜厚で成長させる。次にアンドープi型GaN層の上に、1000℃でMgドープのp型AlGaN層を1500オングストロームの膜厚で成長させる。成長後、窒化ガリウム系化合物半導体を積層した基板を700℃でアニーリング（p型化アニール）後、p型AlGaN層の表面の一部をSiドープのn型AlGaN層までエッチングしてn型GaN層を露出させ、p型AlGaN層の上にNi-Auの合金よりなるp側電極を、n型GaN層の上にTi-Alの合金よりなるn側電極を形成し、これを1mm角の素子としてチップ化する。

【0044】この受光素子は310nm～360nmで受光ピークを示し、特に320nm～340nmの波長範囲では強い受光ピークを示し、その量子効率は60パーセント以上であった。さらにこの受光素子は310nm～360nmで受光ピーク以外の波長での感度はほとんどなく、60パーセント以上の量子効率を示した320nm～340nmでの量子効率の1/100以下であり、ノイズをほとんど検出しない、高感度で信頼性の高い窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を得ることができた。

【0045】[実施例3] サファイア基板上に公知の方法によって、GaNを3μmの膜厚でエピタキシャル成長させる。次にエピタキシャル成長したGaN層の上にSiドープのn型GaN層を2μmの膜厚で成長させる。次にn型GaN層の上にアンドープのi型InGaN層を2500オングストロームの膜厚で成長させる。次にi型InGaN層の上に、Mgドープのp型AlGaN層を200オングストロームとMgドープのp型GaN層を1500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0046】成長後、窒化ガリウム系化合物半導体を積層した基板を700℃でアニーリング（p型化アニール）後、p型GaN層の表面の一部をSiドープのn型GaN層までエッチングしてn型GaN層を露出させ、p型GaN層の上にNi-Auの合金よりなるp側電極



を、n型Ga<sub>0.9</sub>N層の上にTi-Alの合金よりなるn側電極を形成し、これを1mm角の素子としてチップ化したところ、実施例1と同様の特性を有する受光素子を得ることができた。

【0047】[実施例4] サファイア基板上にMOVPE法により約500～600℃でAlGa<sub>0.9</sub>Nよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させ、次にバッファ層の上に、1000℃でSiドープのn型AlGa<sub>0.9</sub>N層を2μmの膜厚で成長させる。次にSiドープのn型AlGa<sub>0.9</sub>N層の上に、同様の温度で、アンドープのi型InGa<sub>0.9</sub>N層を2500オングストロームの膜厚で成長させる。次にアンドープi型InGa<sub>0.9</sub>N層の上に、1000℃でMgドープのp型AlGa<sub>0.9</sub>N層を200オングストロームの膜厚で成長させ、さらにp型AlGa<sub>0.9</sub>N層の上に、同様の温度でMgドープのp型Ga<sub>0.9</sub>N層を1500オングストロームの膜厚で成長させる。成長後、窒化ガリウム系化合物半導体を積層した基板を700℃でアニーリング(p型化アニール)後、p型AlGa<sub>0.9</sub>N層の表面の一部をSiドープのn型AlGa<sub>0.9</sub>N層までエッチングしてn型Ga<sub>0.9</sub>N層を露出させ、p型AlGa<sub>0.9</sub>N層の上にNi-Auの合金よりなるp側電極を、n型Ga<sub>0.9</sub>N層の上にTi-Alの合金よりなるn側電極を形成し、これを1mm角の素子としてチップ化する。

【0048】この受光素子は310nm～420nmで受光ピークを示し、特に320nm～390nmの波長範囲では強い受光ピークを示し、その量子効率60パーセント以上であった。さらにこの受光素子は310nm～420nmで受光ピーク以外の波長での感度はほとんどなく、60パーセント以上の量子効率を示した320nm～390nmでの量子効率の1/100以下であり、ノイズをほとんど検出しない、高感度で信頼性の高い窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を得ることができた。

【0049】[実施例5] サファイア基板上にp型層まで窒化ガリウム系化合物半導体を積層し、p型化アニールをするまでは実施例1と同様にして作製し、次に図3のようにp型Ga<sub>0.9</sub>N層の表面の一部をSiドープのn型

Ga<sub>0.9</sub>N層までドット状にエッチングしてn型Ga<sub>0.9</sub>N層を露出させ、p型Ga<sub>0.9</sub>N層の上にNi-Auの合金よりなるp側電極を形成し、Ti-Auの合金よりなるn側電極を、残ったp型Ga<sub>0.9</sub>N層を100×100個を囲むように周囲に形成し、さらにn側電極の外周部で基板を切断し、8mm角の窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光アレイを作製したところ、実施例1と同様の特性を有するフェイスダウンの受光アレイができ、種々の測定機器に設置することができた。

【0050】

【発明の効果】以上のような素子構造の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を作製することで、紫外光等の短波長側の特定の波長領域に限定した、高感度の信頼性の高い受光素子、また受光アレイを実現することができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の受光素子の構造を示す模式断面図。

【図2】本発明の一実施例の受光素子に照射する波長と量子効率との関係を示す図。

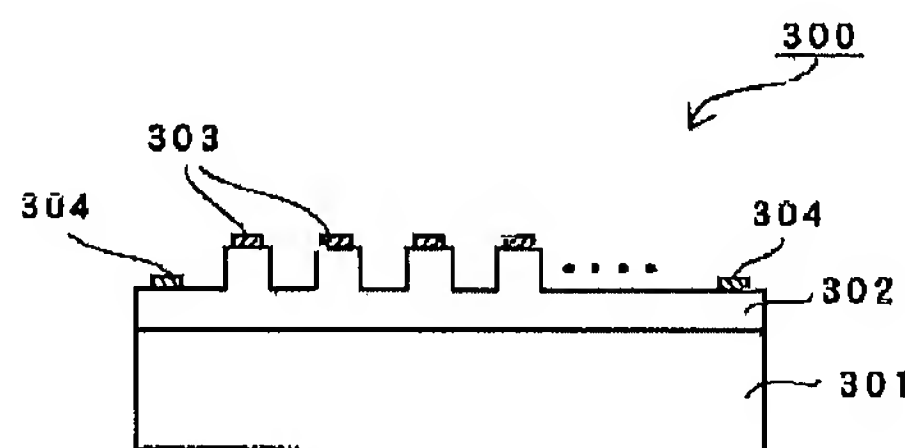
【図3】本発明の一実施例の受光素子が配列された受光アレイの構造を示す模式断面図。

【図4】本発明の一実施例の受光素子が配列された受光アレイを電極側から見た図。

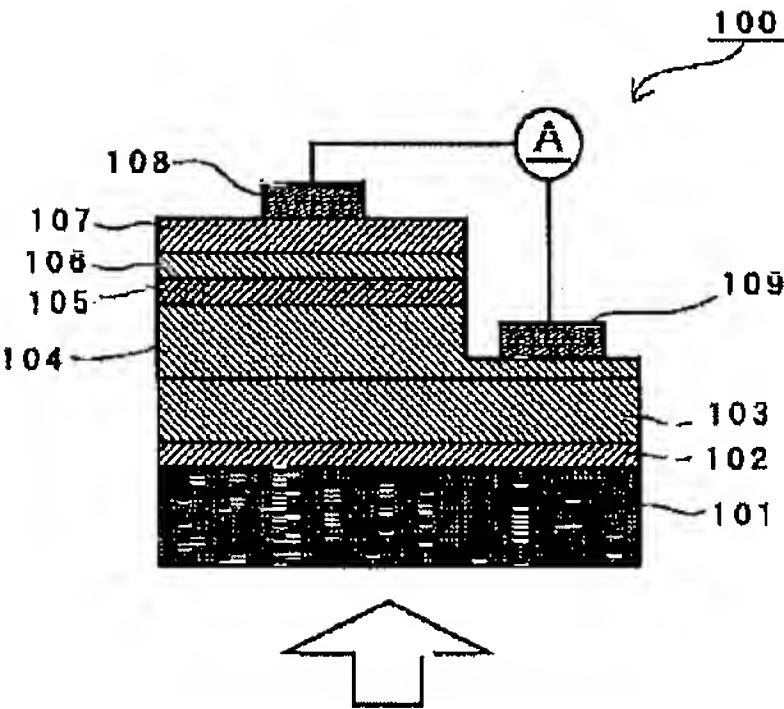
【符号の説明】

100…窒化ガリウム系化合物半導体受光素子、  
101、301…基板、  
102…バッファ層、  
103…第1のn型層、  
104、305…第2のn型層、  
105…受光層、  
106…第1のp型層、  
107、306…第2のp型層、  
108、303…p側電極、  
109、304…n側電極、  
300…窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光アレイ、  
302…窒化ガリウム系化合物半導体。

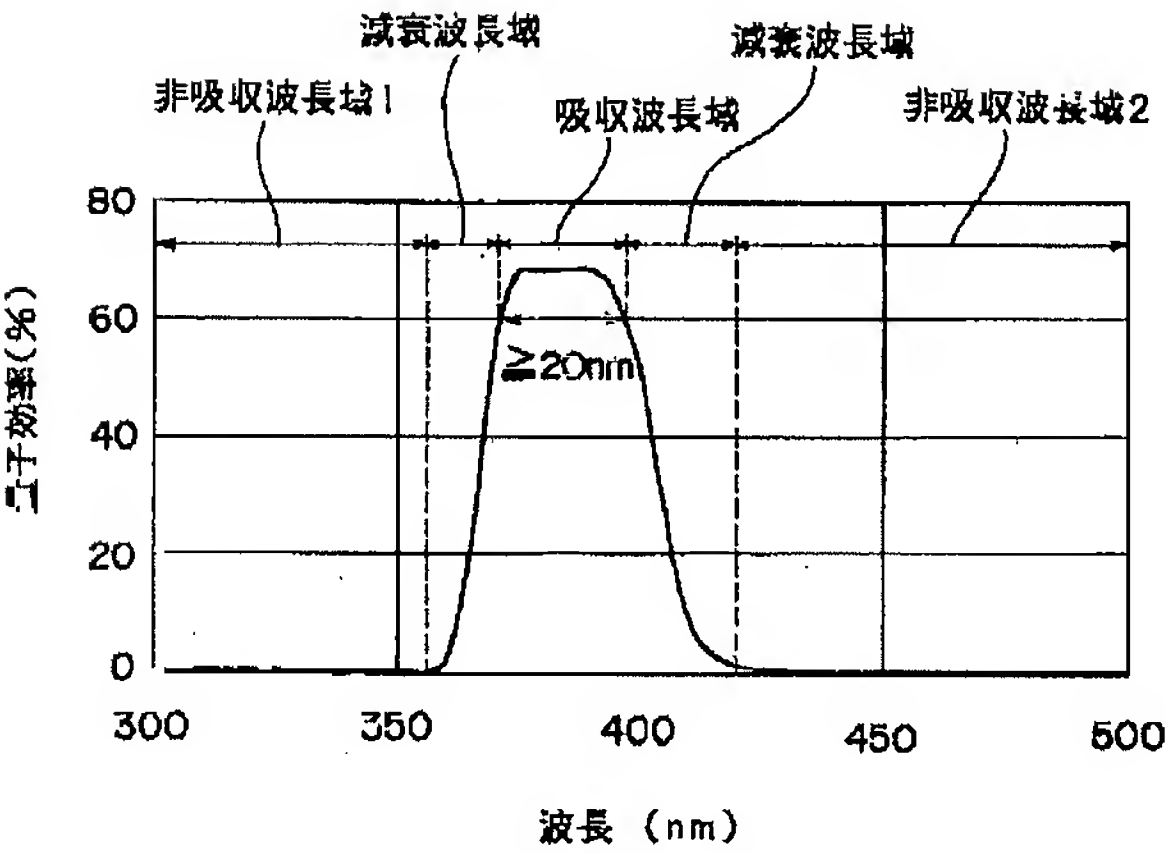
【図3】



【図1】



【図2】



【図4】

